



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **11230758 A**(43) Date of publication of application: **27.08.99**

(51) Int. Cl.

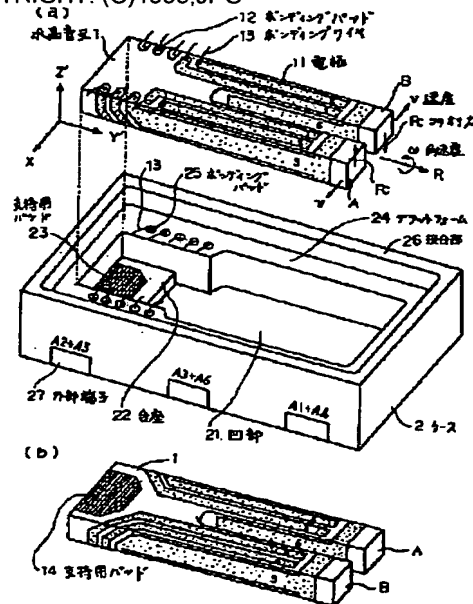
**G01C 19/56  
G01P 9/04**(21) Application number: **10044638**(71) Applicant: **MIYOTA KK**(22) Date of filing: **09.02.98**(72) Inventor: **SHIRATORI NORIHIKO****(54) ANGULAR VELOCITY SENSOR****(57) Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To obtain an angular velocity sensor which can be miniaturized and whose performance can be increased by a method wherein a tuning fork comprising two or more legs is used, electrode end parts for excitation or detection on side faces of the respective legs are gathered in the base part of the tuning fork, the other face of the base part is fixed and bonded to a base, and electrode groups at the base part and at the base are connected by conductors.

**SOLUTION:** A tuning fork 1 made of quartz comprises two legs as a leg A and a leg B. Electrode films for excitation or angular-velocity detection are provided on circumferential side faces of the respective legs A, B. Outgoing lines of respective electrodes 11 are gathered in an upper-side base part from the side face of the tuning fork 1, and they are terminated in bonding pads 12. A case 2 is a ceramic box as an airtight container which houses the tuning fork 1. The tuning fork 1 is attached to the pedestal 22 of the case 2 while a proper elastic material is interposed. After that, the bonding pads 12 on the side of the tuning fork 1 and bonding pads 25 on the side of the case 2 are wire-bonded individually. Since the difference in a height between both pads 12, 25 is small, the case 2 can be miniaturized as a whole. The difference voltage between an electrode A1 and an electrode A2, that between an

electrode A4 and an electrode B5, that between an electrode B1 and an electrode B2, and that between an electrode B4 and an electrode B5, proportional to the flexure of main faces of the leg A and the leg B due to the Coriolis force. As a result, when the difference voltages are measured, an angular velocity can be detected.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-230758

(43) 公開日 平成11年(1999) 8月27日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

G 0 1 C 19/56

G 0 1 C 19/56

G 0 1 P 9/04

G 0 1 P 9/04

審査請求 未請求 請求項の数16 F D (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平10-44638

(22) 出願日 平成10年(1998) 2月 9 日

(71) 出願人 000166948

ミヨタ株式会社

長野県北佐久郡御代田町大字御代田4107番  
地 5

(72) 発明者 白鳥 典彦

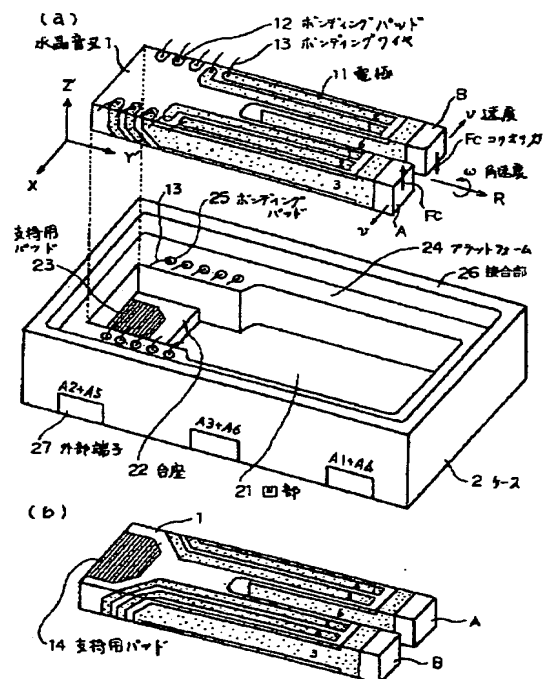
長野県北佐久郡御代田町大字御代田4107番  
地 5 ミヨタ株式会社内

(54) 【発明の名称】 角速度センサ

(57) 【要約】

【課題】 音叉型振動ジャイロの原理による角速度センサは、各脚の周囲に励振用、検出用の両電極を備えるので、電極構成および回路との接続が極めて複雑となる。各電極と回路との総合的・合理的な接続を可能にすると共に廉価、小型かつ高精度のセンサ特性を発揮しうる構成を提案する。

【解決手段】 各脚の電極の端部を音叉基部の主面の少なくとも一つに集め、基部の他の面を基台に固着し、基部電極群と基台側の電極群とを導体により接続したこと。また音叉基部上に I C チップを搭載したこと。また音叉を回路基板と一体化した気密容器に封入したこと。また音叉の電極を共通に用いて音叉の励振と角速度の検出を時分割で行うこと。また音叉の圧電結晶材からのカット角を調節して主振動とコリオリ力による振動の両モードの周波数温度特性を整合させた。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 2 脚以上の音叉を用いた角速度センサであって、前記各脚の周囲面に設けた励振あるいは検出用の電極の端部を前記音叉の基部の主面の少なくとも一つに集め、前記基部の主面で基台に固着し、前記基部電極群と前記基台側の電極群との導体による接続を行ったことを特徴とする角速度センサ。

【請求項 2】 2 脚以上の音叉を用いた角速度センサであって、前記各脚の周囲面に設けた励振あるいは検出用の電極の端部を前記音叉の基部の主面の一つに集め、前記基部の他の面を弾性部材を介して基台に接着し、前記基部電極群と前記基台側の電極群との導体による接続を行ったことを特徴とする角速度センサ。

【請求項 3】 前記基台は前記音叉を封入する気密容器の底部にあり、前記基台側の電極群は前記基台より高所に設けたことを特徴とする請求項 1 あるいは 2 の角速度センサ。

【請求項 4】 前記基部電極群と前記基台側の電極群とをハンダあるいは導電接着剤で直接導電的に接合したことを特徴とする請求項 1 の角速度センサ。

【請求項 5】 前記導体による接続は、可撓性のリボン状の絶縁基板上に形成された多数の導体箔の各々の端部と前記基部の主面の電極の各々の端部との導電性接着によってなされたことを特徴とする請求項 1 ないし 3 のいずれかの角速度センサ。

【請求項 6】 前記角速度センサを励振・検出する回路手段を搭載する回路基板の一部を前記音叉を封入する気密容器の底部となし、前記音叉の周囲の前記回路基板面に前記気密容器の上部となる蓋との接合部を枠状に設け、該接合部の内側に前記基台と前記基台側の電極群とを設け、該基台側の電極群と前記回路手段とを前記回路基板の内部あるいは表面に設けられ前記気密容器となる部分を貫通する配線手段で結線し、前記基台に前記音叉を取り付けて前記基部電極群と前記基台側の電極群との導体による接続を行いつつ前記接合部に前記蓋を接合して気密封止を行うことによって、前記回路基板上に気密容器入りの角速度センサとその励振・検出回路を一体化したことを特徴とする請求項 1 ないし 5 のいずれかの角速度センサ。

【請求項 7】 2 脚以上の音叉を用いた角速度センサであって、前記各脚の各側面に設けた励振あるいは検出用の電極の端部を前記音叉の基部の主面の一つに集め、前記基部の他の面を基台に固定し、前記主面に回路素子の少なくとも一部を搭載し、かつ該回路素子と前記電極との前記主面上での接続を行ったことを特徴とする角速度センサ。

【請求項 8】 前記回路素子は前記主面の一つの面上に搭載された I C チップであることを特徴とする請求項 7 の角速度センサ。

【請求項 9】 前記 I C チップは前記主面の一つの面上

にダイボンディングされており、前記 I C チップと前記電極の端部とはワイヤボンディングで接続されていることを特徴とする請求項 8 の角速度センサ。

【請求項 10】 2 脚または多脚の音叉を用いた角速度センサであって、前記音叉に設けた複数の電極は個々に切替え回路を経由して励振・検出回路に接続されており、前記切替え回路は制御回路によって操作されて、励振作用と角速度検出作用とが共通の電極を用いて交互に行われることを特徴とする角速度センサ。

10 【請求項 11】 前記励振作用と前記角速度検出作用との一方で使用され他方では使用されない電極は、前記切替え回路によって不使用時に所定の電位に接続されることを特徴とする請求項 10 の角速度センサ。

【請求項 12】 前記音叉の材料が圧電性の磁器であることを特徴とする請求項 1 ないし 11 のいずれかの角速度センサ。

【請求項 13】 前記音叉の材料が圧電性の結晶であることを特徴とする請求項 1 ないし 11 のいずれかの角速度センサ。

20 【請求項 14】 前記音叉の材料が水晶材であり、前記主面は水晶材の X 軸にほぼ平行あるいは垂直であり、前記脚の軸方向は Y 軸の方向にほぼ近いことを特徴とする請求項 1 ないし 11 のいずれかの角速度センサ。

【請求項 15】 音叉の材料が水晶材であり、前記主面の法線は水晶材の X 軸と 15° ないし 75° 傾斜しており、前記脚の軸方向は Y 軸の方向にほぼ近いことを特徴とする請求項 1 ないし 11 のいずれかの角速度センサ。

【請求項 16】 前記脚の断面寸法がほぼ正方形であることを特徴とする請求項 1 ないし 15 の角速度センサ。

## 30 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は音叉型振動体を用いた角速度センサに関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来、音叉は高い精度や安定度が達成できる優秀な振動体として知られているので、音叉型振動体をいわゆる振動ジャイロスコープ技術に応用して、優れたジャイロセンサを実現しようという提案が多数なされている。また精度や安定性をより高めるため、振動体を圧電性の磁器あるいは結晶材料、望ましくは水晶材で一体的に形成しようという提案も複数ある。なお本明細書で言う音叉型振動体とは、古典的な平行 2 脚の振動体に限定せず、複数の片持ち型の屈曲振動脚が共通の基部（実質的にはほとんど振動しておらず、振動歪も十分小さいと見なせ、振動体を支持するために使用されることが多い部分）から突出している形状の振動体を総称することとする。

【0003】例えば従来例として（1）特開平 9-72743 号公報に開示された水晶製 2 脚音叉（各脚の四囲の電極のうち 3 面を励振に、1 面を検出に用いる）、

(2) 特開平8-114457号公報に開示された圧電結晶製2脚音叉(一方の脚に励振電極を、他方の脚に検出電極を配置)、(3) 特開平8-292032号公報に開示された水晶製3脚音叉(外側の脚に励振電極を、中央脚に検出電極を配置)、(4) 特開平8-278142号公報に開示された水晶製平行4脚音叉(外側の2脚で励振、内側の2脚で検出、あるいはその逆)、(5) 特開平7-77538号公報に開示された圧電結晶製H形4脚音叉(一方の平行脚で励振、他方の平行脚で検出)等がある。

【0004】音叉形の振動ジャイロセンサにおいては本来の音叉としての振動モードを励振しておき、それに脚軸方向の軸を持つ回転が加わった際に発生するコリオリの力によって各脚が音叉の振動方向と垂直な方向に変形するので、その歪みを検出用電極で検出する。励振用電極も検出用電極も各脚の4つの側面に設けられる。一般的に言って各脚の周囲の全ての側面に電極を配するのが最も動作上能率または感度が良い。またいずれも最も効果的な配置場所は励振の歪みも検出の歪みも最大となる脚の根元(固定端)に近い部分に設けたいので場所的にも競合する。腕時計等に使用される音叉形振動子は僅かに2端子の接続で済んでいるが、上記のような理由で音叉形ジャイロセンサの表面の電極の数は極めて多く、引出し線の引回しも複雑になって振動体表面での立体交差も要求されて電極形成コストも増え、外部回路との接続も容易ではなくなるという問題点がある。脚数によって複雑さは飛躍的に増す。

#### 【0005】

【発明が解決しようとする課題】上記各従来例では、

(1)は電極の一部省略と共用、(2)(3)(4)は各脚の役割分担等の工夫を行ってはいるものの、それでもまだ電極は十分複雑であり、その複雑な電極と外部回路とを簡素な構造かつ単純な工程で接続する技術は提案されていない。(5)は外部への接続構造(ワイヤボンディング)は提示されているが、音叉の基部自体がジンバル的構造を含む複雑な形状であるという他の問題点がある。

【0006】本発明の目的は、音叉型角速度センサにおいて、振動体上の各電極と回路との総合的・合理的な接続を可能にすると共に小型かつ高精度のセンサ特性を発揮できるような構成を提案することである。

#### 【0007】

【課題を解決するための手段】2脚以上の音叉を用いた音叉型角速度センサにおいて、下記の特徴を単独あるいは適宜組合わせて用いること。

(1) 各脚の各側面に設けた励振あるいは検出用の電極の端部を前記音叉の基部の主面の少なくとも一つに集め、前記基部の他の面を基台に固着し、前記基部電極群と前記基台側の電極群との導体による接続を行ったこと。

(2) 各脚の各側面に設けた励振あるいは検出用の電極の端部を前記音叉の基部の主面の一つに集め、前記基部の他の面を弾性部材を介して基台に接着し、前記基部電極群と前記基台側の電極群との導体による接続を行ったこと。

(3) 前記基台は真空容器の底部にあり、前記基台側の電極群は前記基台より高所に設けたこと。

(4) 前記基部電極群と前記基台側の電極群とをハンダあるいは導電接着剤で直接導電的に接合したこと。

10 (5) 前記導体による接続は、可撓性のリボン状の絶縁基板上に形成された多数の導体箔の各々の端部と前記基部の主面の電極の各々の端部との導電性接着によってなされたこと。

20 【0008】(6) 前記角速度センサを励振・検出する回路手段を搭載する回路基板の一部を前記音叉を封入する気密容器の底部となし、前記音叉の周囲の前記回路基板面に前記気密容器の上部となる蓋との接合部を枠状に設け、該接合部の内側に前記基台と前記基台側の電極群とを設け、該基台側の電極群と前記回路手段とを前記回路基板の内部あるいは表面に設けられ前記気密容器となる部分を貫通する配線手段で結線し、前記基台に前記音叉を取り付けて前記基部電極群と前記基台側の電極群との導体による接続を行いかつ前記接合部に前記蓋を接合して気密封止を行うことによって、前記回路基板の上に気密容器入りの角速度センサとその励振・検出回路を一体化したこと。

30 【0009】(7) 各脚の各側面に設けた励振あるいは検出用の電極の端部を前記音叉の基部の主面の一つに集め、前記基部の他の面を基台に固定し、前記主面に回路素子の少なくとも一部を搭載し、かつ該回路素子と前記電極との前記主面上での接続を行ったこと。

(8) 前記回路素子は前記主面の一つの面上に搭載されたICチップであること。

(9) 前記ICチップは前記主面の一つの面上にダイボンディングされており、前記ICチップと前記電極の端部とはワイヤボンディングで接続されていること。

40 【0010】(10) 音叉に設けた複数の電極は個々に切替え回路を経由して励振回路および角速度検出回路に接続されており、前記切替え回路は制御回路によって操作されて、励振作用と角速度検出作用とが同じ電極を用いて交互に行われること。

(11) 前記励振作用と前記角速度検出作用との一方で使用され他方では使用されない電極は、前記切替え回路によって不使用時に所定の電位に接続されること。

【0011】(12) 前記音叉の材料が圧電性の磁器であること。

(13) 前記音叉の材料が圧電性の結晶であること。

50 (14) 前記音叉の材料が水晶材であり、前記主面は水晶材のX軸にほぼ平行あるいは垂直であり、前記脚の軸方向はY軸の方向にほぼ近いこと。

(15) 音叉の材料が水晶材であり、前記主面の法線は水晶材のX軸と15°ないし75°傾斜しており、前記脚の軸方向はY軸の方向にほぼ近いこと。

(16) 前記脚の断面寸法がほぼ正方形であること。

#### 【0012】

【発明の実施の形態】図1は本発明の第1の実施の形態の角速度センサを示す図であり、(a)は分解斜視図、

(b)は音叉の裏面斜視図である。1はA、Bの2脚を持つ水晶製の音叉であり、時計用に普通に用いられる32768Hzの周波数を持ついわゆる+5°XYカットの水晶音叉型振動子と実質的に同じ型の振動体であって、Z板をX軸回りに+1〜7°回転して得たZ'板からU字型に切り出される。なお、角速度センサーの振動体の周波数温度特性の平坦さは時計用ほどは要求されないため、圧電性の方向性をよりよく脚の方向性に揃えて検出電圧のノイズを減らし得るカット角、例えばZ'板の回転方向を約−18.5°とすることも意味がある。

【0013】各脚の周囲側面には、音叉1の基本振動の励振あるいはコリオリ力による角速度検出に用いられる、銀等の電極膜を有する。本例では音叉の表裏の主面(U字面に平行な表面)の脚側面に設けた電極は通常の時計用音叉の場合1本であるのと異なり2本になっているが、これはコリオリ力による脚の歪を検出可能にするためである。A、B各脚の電極膜には図示のように対称的に1〜6の番号をつけておき、一方の脚の電極を特定する必要がある場合にはA1、A2、……B5、B6のように呼ぶことにする。電極パターンは輪郭内を打点で示した。

【0014】各電極の引出し線は必要に応じて音叉の側面を経由しすべて音叉1の上側の主面の基部(各脚を連結し、実質的に振動しない部分)に集められ、ボンディングパッド12で終端する。また裏側の主面にはハンダ付け可能な材質膜より成る支持用パッド14が設けてある。2はケースで、音叉1を収容する気密容器(内部は真空あるいは不活性ガスが封入される)となるセラミック製の箱である。

【0015】その各部は、音叉1を収容しかつ自由な振動を許すための凹部21、音叉の基部を載置する台座22および音叉の支持用パッド14とハンダあるいは接着剤で接合されて音叉をケース内に支持・固定する支持用パッド23、収容された音叉の上面とほぼ等しい高さに設けたプラットフォーム24とその面に設けた複数の小面積のメタライズ部であるボンディングパッド25、気密容器の蓋となるガラス板(図示せず)が載置・接着される接合部26、ケース外部への励振・検出電極の引出し部である外部端子27(他の回路基板に対してケースをSMD方式で実装することが可能なように、ケースの稜部に側面と底面にかかるように設けられる)等よりなる。

【0016】音叉1を台座22に取り付ける場合、直接

両者を固着するのではなく、間に適当な弾性材あるいはバネ構造体を介在させてもよい。これは振動絶縁効果によって、音叉の振動漏れを防いで振動を安定化させ、あるいは外部からの振動が音叉に伝わって検出信号にノイズが混入するのを防止する効果を狙うものである。

【0017】なお音叉1を台座22に取り付け後、音叉側のボンディングパッド12とケース側のボンディングパッド25とは各々金やアルミニウムの細線より成るボンディングワイヤ13にて個々にワイヤボンディングされる。両ボンディングパッドの高さの差を既述の如くすべて小さくしてあるのでワイヤボンディングは容易であり、ワイヤも短く、音叉の周囲に広いスペースを要しないのでケース全体を小型化できる。またボンディングパッド25と外部端子27とは、ケース2の内部で多層基板印刷配線技術等を用いて接続されている。その際同時に用いられる電極はケース側面に例えばA2+A5と表示してあるように内部結線されて同じ外部端子にまとめられる。

【0018】なお図1(a)に示した矢印vはある瞬間の各脚の速度、矢印Rは角速度が検出される回転軸の方向、 $\omega$ はその角速度であり、矢印Fcはそのような回転がケース2に加わったとき各脚に作用するコリオリ力を示している。このコリオリ力Fcは角速度に比例し、それにより脚A、Bの主面に垂直な撓みが生じるが、これは電極A1とA2、A4とA5、B1とB2、B4とB5の差電圧に比例するので、結果的に角速度の検出ができる。

【0019】上記本発明の第1の実施の形態においては音叉の各電極を音叉外部に引出すのにワイヤボンディング技術を用いたが、第2の実施の形態においては可撓性の基板から成るリード板を用いる。図2はそのリード板3のみを平面図で示したものである。リード板3上のリードパターン32の末端であるボンディングパッド31を図1に示したと同様な電極構造を持つ音叉1の基部に対向させて重ね、導電接着剤にて接着する。リード板3の他端は図示しないが外部回路に適合する形状としておきそれに接続する。これは液晶表示パネルと外部回路との接続技術の応用である。音叉を気密容器に封入せず、大気中で使用する場合により適する接続構造である。

【0020】図3の各図は本発明の第3の実施の形態に関し、(a)はその斜視図、(b)は脚部の断面図、

(c)はその変形例の脚部の断面図である。本例では脚C、D、Eを有する3脚音叉4をセンサとして用いると共に、駆動・検出回路を収めたICチップ5を音叉基部上に搭載している。励振・駆動用電極11の末端であるボンディングパッド12は、ICチップ5の周縁部の電極パッドに直接ワイヤボンディングされる。この構成により、回路を含めた角速度センサを極めて小型化することができる。

【0021】電源、回路制御用の入力、角速度検出出力

7

等外部との連絡のため、外部端子 15 も備えている。ケースは図示しないが、第 1 の実施の形態におけるケース 2 と類似の構造の気密容器を用いることができる。本例の 3 脚音叉は (a)、(b) に示すように、各脚の基本振動は音叉の主面に垂直方向であり、2 脚音叉とは異なる。従って 3 脚音叉の素材水晶板のカット方位は (a) に示すように X 板となる。

【0022】また音叉の主振動モードの励振駆動は両側の脚で行い、角速度の検出は中央の脚で行う。検出用の脚を励振用の脚と分離でき、検出用電極の出力に励振電圧がノイズとして混入することを避けることが容易にできるのが 3 脚音叉の利点である。そのための電極 11 の配置は (b) のようである。なお同図に角速度の検出軸 R の方向、角速度  $\omega$  も振動速度  $v$ 、コリオリ力  $F_c$  と共に示した。

【0023】また  $t$  は音叉板の厚さ、 $w$  は中央脚 D の幅である。各脚の屈曲振動の固有振動数は主に  $t$  で決まり  $w$  に無関係なので、本例では中央脚幅  $w$  は両側の脚幅と異なってもよい。各脚幅が全て等しい場合、中央脚の振幅は両側脚の 2 倍となるので検出感度上は有利となる。 $w$  が大きくなれば、それに反比例して中央脚の外側脚に対する振幅比は減少する。

【0024】図 3 (c) にはこの実施の形態の変形例で、音叉の各脚の基本振動の方向が  $9^\circ$  異なり、音叉の主面に平行である角速度センサである。本例では中央脚と両側脚とが互いに逆位相で基本振動をする。各脚の固有振動数はその幅で決まり、それらは全て等しい要請から、各脚は全て等しい  $w$  を持つ。切出し方位も変化し、第 1 の実施の形態である 2 脚音叉の場合とほぼ等しくなる。その他は第 2 の実施の形態の基本形と変わらない構成を取り得る。

【0025】図 4 は本発明の第 4 の実施の形態を示し、(a) はガラス蓋を除いたその平面図、(b) は X-X 断面図、(c) はその変形例の X-X 断面図である。本例は励振・検出回路を実装した回路基板がセンサ振動体の気密ケースを兼ねている構造である。振動体としては前例と同じ 3 脚音叉を用いた。電極構造等細部の図示は省略した。

【0026】ケース 2 の回路基板となる部分には、回路の主体である IC チップ 5 および抵抗、容量等の外付け素子 51 が実装されている。それら同士の基板内の配線は図示を省略した。回路基板の一部には 3 脚音叉 4 の収納部である凹部 21 があり、その内部の台座 22 に 3 脚音叉 4 が取り付けられる。凹部 21 を囲んで接合部 26 があるが、これはガラス蓋 28 (周波数トリミングのためレーザー光透過性の材質より成り、(a) には図示せず) の周辺部を接着封止するために枠状にコーティングされた低融点ガラスの層である。

【0027】断面図 (b)、(c) には気密容器部分の 2 つの異なる形態を示した。(b) においてはケース 2

8

が気密容器の側面部まで覆う例で、接合部 26 はケース 2 (回路基板) の上面から突出した側壁部の上縁に設けられ、ガラス蓋 28 は板状の例であり、(c) においては接合部 26 はケース 2 (回路基板) の凹部の底に設けられ、ケース 2 は気密容器の底面のみを覆う例で、ガラス蓋 28 は箱状をなしている。後者においては回路基板の最大厚さを薄くすることができる。

【0028】励振あるいは検出用の電極端は細部は図示しないが音叉 4 の上側の主面の基部の端の縁に集められ、ケース 2 (回路基板) 側の電極端にワイヤボンディングされる (13 はボンディングワイヤ)。ケース側の電極端はケース 2 (回路基板) の内部を経由する (あるいは表面に沿う) 配線パターン 29 によって IC チップ 5 側の端子に導かれる。図示しないがもちろん外付け素子 51 を経由してもよい。センサ全体の入出力や電源との接続は外部端子 27 によって行われる。

【0029】図 5 は本発明の第 5 の実施の形態を示す音叉の脚部の断面図であり、(a) はその概念を 2 脚音叉に適用した例、(b) は 3 脚音叉に適用した例である。第 5 の実施の形態の意図は次の通りである。音叉の基本的な (本来の) 振動モードにおける固有振動数と、コリオリ力による振動モード (脚の撓み方向が基本モードの場合と垂直になる) の固有振動数が極めて近いとき、両モードが共振してコリオリ力による振動の振幅が増加し、角速度の検出感度が高くなるとされる。

【0030】そのために音叉の厚み  $t$  と脚の幅  $w$  をほぼ等しくする。しかし 2 つの固有振動数を完全に一致させるのではなく、 $t$ 、 $w$  を調節して僅かな離調度を保つのがよい。しかるに、水晶材の異方性により、両モードの周波数温度特性は一般的に一致しない。 $+5^\circ$  XY カットの場合、基本モードの周波数温度特性は比較的フラットな 2 次曲線状であるが、コリオリ振動モードの周波数温度特性はほぼ直線的で大きな負の値を持つ。従って離調度は使用温度範囲でかなりずれてしまう。

【0031】本実施の形態においては、音叉のカット角を傾けることによって、両モードの周波数温度特性をほぼ一致させ、環境温度が変化しても両モードの固有振動数が平行移動するので離調度 (あるいは固有振動数の差) があまり変わらないようにした。ただし周波数温度特性自体はフラットではなく負の値となるが、それは止むを得ないものとする。更に説明すると、

【0032】基本振動の固有振動数を  $f_n$ 、コリオリ振動の固有振動数を  $f_c$ 、脚長を  $l$ 、ヤング率を  $E$ 、密度を  $\rho$ 、比例定数を  $\lambda$  とすると、  

$$f_n = \lambda \times w \times \sqrt{(E/\rho) / (l \times l)}$$

$$f_c = \lambda \times t \times \sqrt{(E/\rho) / (l \times l)}$$
 となる。両式を温度  $\theta$  で微分して差をとると、  

$$df_n/(f_n d\theta) - df_c/(f_c d\theta) = [dw/(w d\theta) - dt/(t d\theta)]$$

であるから、 $w$  と  $t$  との線膨張係数が等しくなれば上式

の右辺はゼロになり、2つのモードの周波数の温度変化は平行する。

【0033】水晶材の線膨張率は理科年表によると光軸（Z軸）に平行な方向では6.8ppm、垂直な方向（XY平面に平行）では12.2ppmである。従ってwとtとを共にZ軸に関してほぼ等角度傾斜させれば、上記の条件を満たすことができる。実際には約45°近辺の任意の範囲で最適角度を実験的に探せばよい。図5（a）、（b）はこのような角度状態を概念的に示している。脚の長手方向がY'軸方向であるので、励振・検出電極は前述の他の実施の形態とほぼ同様とすることができる。

【0034】図6は本発明の角速度センサの2脚音叉における脚部電極と励振・検出回路との結線状態を説明する実施の形態2例の概念図であり、（a）は第6の実施の形態、（b）は第7の実施の形態を示す。第6の実施の形態（a）は第1の実施の形態あるいは第5の実施の形態にて述べた如く2脚音叉の各脚に6個ずつの電極を設けた場合、A1、A2、B1、B2を検出回路7に用い、他を励振回路6に結線した例である。

【0035】第7の実施の形態（b）は一方の脚A上の各電極を励振回路6に接続して励振を行い、脚B上の各電極を検出回路7に接続して検出動作を行わせるように、音叉脚の役割分担をしたものである。この実施の形態においては、特に検出の高能率化と共に、励振電圧がノイズとして検出電圧に混入することが極めて少ない利点がある。なお、B3、B6の電極は検出用に用いないことにしたので、これらの電極は始めから設けなくとも、あるいは図示のように所定の電位VEに固定しておく。

【0036】図7は本発明の第8の実施の形態における、2脚音叉励振・検出回路の概念図であり、（a）、（b）はその動作の2状態をそれぞれ示している。本例では同じ電極を用いて励振と検出を交互に時分割で行い（即ちある期間には電極群が励振回路6に接続され、次の期間には検出回路7に接続される動作を反復する）、励振、検出のいずれの場合も、最も能率的な位置（歪みの大きい脚の根元付近）にある全電極を競合なく利用し、脚側面の有効全面積を活用して能率的かつ高感度に行うと共に、検出時に励振電圧が影響するのを避けることができる。

【0037】励振動作の最小必要な持続時間は、検出期間中の振幅減衰を回復して再び振幅が飽和に近づくまでとし、検出時間は容量成分に充電された前の励振電圧が放電してその影響が小さくなるまでの時間と検出時間との和で、振幅があまり減衰してしまう前に終わらせねばならない。音叉のQ値が十分高ければ振幅減衰がゆるやかになるので検出の時間的余裕が生まれ、本実施の形態の動作が可能となる。また励振・検出のサイクルを短時間で行うことが、サンプリングの頻度を増し、連続検出

に近い検出精度を得る観点から一般的に望ましい。

【0038】図8は上記第8の本発明の実施の形態に用いる回路を説明するブロック図である。音叉上の各電極は適宜に（図示例は6群）まとめられ、切替回路群84に入力する。切替回路群84は6個の切替回路要素より成り、各切替回路要素は端子イを切替制御回路83の出力の変化に応じて端子ロまたは端子ハのいずれかに一斉に切替え接続する動作を行う。

【0039】全ての電極側の端子イが端子ハ即ち励振回路6に接続されているとき、音叉は励振期間にある。そのとき切替制御回路83は励振回路6に対して励振動作を許す励振許可信号PAを出力している。また励振回路6は音叉と同じ周波数を有するクロック信号発生回路81と自分の励振動作との位相を合せるための同期信号PSを受受している。同期をとる理由は検出期間が終わって次の励振期間が開始されるとき、減衰途中の残留振動と異なる位相で励振が再開されると却って減衰し、新たな振幅の成長に長時間を要するので、この現象を避けるためである。

【0040】クロック信号発生回路81のクロック出力は分周回路82で数分の1ないし数万分の1に分周され、励振・検出の反復に適した周波数に変換され、切替え制御回路83の動作タイミングを与える。

【0041】切替回路83が検出期間を指令したとき、即ち切替回路群84に各電極側端子イが端子ロに接続されると、主要な電極の検出電圧はそれぞれ検出回路7に入力する。即ち電極（A1 + A4 + B1 + B4）と（A2 + A5 + B2 + B5）との総合検出電圧とはインピーダンス変換器71を経てインピーダンスを調整された上で差動増幅回路72で差電圧を増幅され、更に同期検波回路73で検波して、出力信号に混入している基本振動歪みによる電圧が除かれる。

【0042】なお同期検波の制御信号としては従来は励振回路の出力の一部が使われたが、本回路では励振動作が停止中なので前述のクロック信号発生回路81の出力の一つである検波同期信号PDが用いられる。前記検波出力はローパスフィルタ74で高周波ノイズ成分が除かれ、更にDCアンプ75で適度に増幅されて、コリオリ力FCに比例する角速度検出出力Ωが得られる。検出期間に使用しない電極A3、A6、B3、B6があるが、それらは所定電位VEに接続される。

【0043】なお回路構成の変形例について述べておく。本実施の形態ではクロック信号発生回路を設けて切替えによる位相状態を維持するようにしたが、構成を変えて、検出期間中のクロック信号作成回路の出力に相当する信号を、減衰中の振動により任意の音叉電極から得られる振動電圧を適宜増幅して作成する回路は、減衰が甚だしくないという条件下で容易に構成可能である。この場合はわざわざ励振回路との位相調整は不要となるか、更に簡単化され得る。

【0044】また1つの脚を常時励振して振動の位相情報を維持しておき、他の脚については励振と検出を時分割で行うとか、あるいはその一種として1つの脚に属する電極の全部または一部から発生する電圧を常時参照信号として用い、参照信号を増幅器で増幅して励振駆動用の正帰還出力とし、切替回路群を用いて、残りの全電極に対しては、前記該駆動出力を供給する期間と検出電極として利用する期間とを交互に切替えるというように、電極の役割が発振か検出かのいずれかに固定されている従来例と第8の実施の形態との中間的な種々の形態も実現可能であり、本発明の実施の形態として採用し得る。もちろんセンサ振動体に3脚音叉や4脚音叉を使用してもよく、構成に対応した効果を発揮する。例えば励振時には検出用の電極まで動員することによって、検出時には却って大きな振幅（励振用電極と検出用電極が固定されている場合よりも）が得られる場合もあり得る。

【0045】図9は本発明の第9の実施の形態の斜視図である。1は音叉で、図1に示した第1の実施の形態におけると同様な1～6の番号を付した励振・検出用の電極11を各脚A、Bの周囲に有する。各電極は音叉の基部主面上に配置したボンディングパッド12（本例では支持用パッド14も兼ねる）に引出し線パターンで接続されている。音叉1をその中心軸（対称軸）に関して180°回転したとき、各ボンディングパッド12とそれらに対応する電極11は図上で全く同じパターンで表れる（反転すると図示電極およびボンディングパッドはA2、A1、B1、B2がB4、B5、A5、A4に変わるが）ように配慮されている。なおボンディングパッド12は基部の縁の2列配置に限定する必要はなく、基部主面の内部の可能な位置を選んで自由に配置してよい。

【0046】ケース2側には僅かに突起したボンディングパッド25（台座22および支持用パッド23を兼ねる）が2列に設けられ、上面はメタライズされ外部配線に接続されている。音叉1はこの上に置かれ、両ボンディングパッド（音叉側のは下の主面にあるもの）は位置合わせの上ハンダあるいは導電接着材で接合され、音叉の支持と端子の接続処理とが同時に行われる。余分のハンダ等はボンディングパッド25間の溝内に逃がされ短絡を避けられる。この構成ではセンサの組立時に音叉1の表裏を判別しなくてもよく、しかも接続が支持と同時に行われて容易である利点を有する。またこの構成は任意の電極配置あるいは多脚の音叉に対して適用し得る。またボンディングパッドが上下の主面にできるが、上面側のボンディングパッドを第1の実施の形態の如くワイヤボンディングに用いても表裏判別を不要化できる。

【0047】以上各種の実施の形態について述べたが、本発明はもとよりそれらに限定されるものではなく、各実施の形態やその変形例の特徴を種々に組合わせた諸形態もまた本発明に属するものである。

【0048】

【発明の効果】本発明は各電極と回路との総合的・合理的な接続を可能にすると共に廉価で小型かつ高精度のセンサ特性が得られる効果を有する。具体的には構成の諸特徴に従って下記の諸効果が得られる。

【0049】（1）音叉の各脚の各側面の電極端部を基部の少なくとも1つの主面に集め、基部の主面の1つを基台に取り付けたので、ワイヤボンディングにも直接導電接着にも適する構造が得られ、基台あるいは容器側電極との接続が極めて容易になり従って製造コストも削減できた。

（2）音叉基部上にICチップを実装搭載した構造では音叉内部での接続により外部との接続数を減少できやはり接続が容易になりセンサの小型化ができた。

（3）励振・検出回路を実装した回路基板の一部を気密容器として音叉を封入することにより、気密容器の外側の回路との接続を回路基板配線技術を用いて容易確実に行うと共に角速度センサの一体化・小型化を達成することができた。

【0050】（4）上記の接続技術のいずれかに加えて圧電結晶からのカット角を変えた音叉を用いることにより音叉の主振動とコリオリ振動との離調度の温度特性を改善し広い温度範囲にわたって高い感度と安定性を得ることができた。

（5）共通の音叉電極を用いて励振と角速度検出を時分割で行うことにより、電極構成を単純化し、励振駆動、検出のいずれの目的に対しても電極が最も能率的に働く位置を脚上で占めることができセンサ感度を高め得たと共に、駆動電圧の影響を受けない検出を可能にした。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態を示す図であり、（a）は分解斜視図、（b）は音叉の裏面斜視図である。

【図2】本発明の第2の実施の形態に用いる接続部材の平面図である。

【図3】本発明の第3の実施の形態に関する図であり、（a）はその斜視図、（b）は脚部の断面図、（c）はその変形例の脚部の断面図である。

【図4】本発明の第4の実施の形態を示す図であり、（a）はその平面図、（b）はX-X断面図、（c）はその変形例のX-X断面図である。

【図5】本発明の第5の実施の形態を示す音叉の脚部の断面図であり、（a）は2脚音叉の場合、（b）は3脚音叉の場合である。

【図6】本発明の脚部電極と励振・検出回路との結線状態に関する実施の形態2例の概念図であり、（a）は第6の実施の形態、（b）は第7の実施の形態を示す。

【図7】本発明の励振・検出回路に関する第8の実施の形態の概念図であり、（a）、（b）はその動作の2状態を示す。

【図8】本発明の上記第8の実施の形態に用いる回路の



ブロック図である。

【図 9】本発明の第 9 の実施の形態の斜視図である。

【符号の説明】

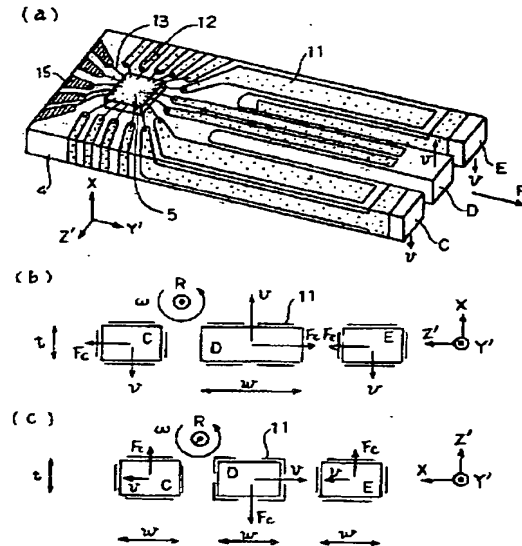
- 1 音叉
- 11 電極
- 12 ボンディングパッド
- 13 ボンディングワイヤ
- 14 支持用パッド
- 15 外部端子
- 2 ケース
- 21 凹部
- 22 台座
- 23 支持用パッド
- 24 プラットフォーム
- 25 ボンディングパッド
- 26 接合部
- 27 外部端子
- 28 ガラス蓋
- 29 配線
- 3 リード板
- 31 ボンディングパッド
- 32 リードパターン
- 4 3脚音叉
- 5 ICチップ
- 51 外付け素子
- 6 励振回路

【図 2】

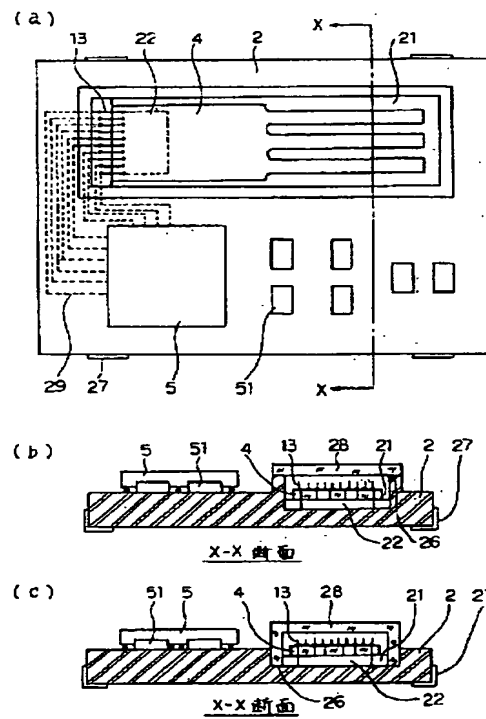


- 7 検出回路
- 71 インピーダンス変換器
- 72 差動増幅回路
- 73 同期検波回路
- 74 ローパスフィルタ
- 75 DCアンプ
- 81 クロック信号発生回路
- 82 分周回路
- 83 切替制御回路
- 84 切替回路群
- 10 A 脚
- B 脚
- C 脚
- D 脚
- E 脚
- R 検出回転軸
- t 音叉厚さ
- w 音叉脚幅
- v 速度
- $\omega$  角速度
- $\Omega$  角速度検出出力
- FC コリオリ力
- PA 励振許可信号
- PD 検波同期信号
- PS 同期信号
- VE 所定の電位

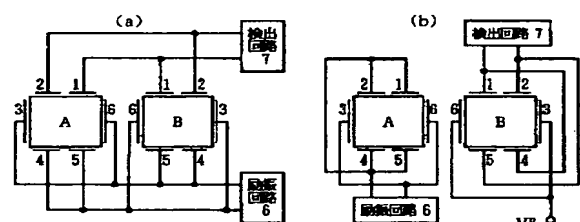
【図 3】



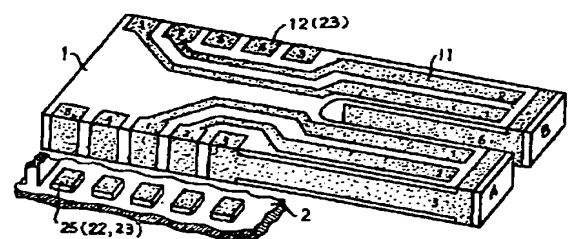
【圖 4】



【図 6】



【図 9】



【図 8】

